تاریخ دریافت: ۷ اسفند ۱۴۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۴ فروردین ۱۴۰۲

امکان‌سنجی ساخت نیروگاه خورشیدی در مرز ایران-پاکستان و مزیت‌های اقتصادی برای صادرات برق به پاکستان

مجید زارع زاده
کارشناس انرژی و محیط زیست، سازمان ملی استاندارد، اداره کل استاندارد هرمزگان
Majid_zarezadeh_nu@yahoo.com

کشور پاکستان با وسعت زیاد و جمعیت فراوان خود به عنوان یک بازار هدف برای صادرات کالا و خدمات می‌باشد. وجود مرزهای زیاد بین این کشور و استان سیستان و بلوچستان در ایران، یک مزیت رقابتی مناسب برای کشور است. همچنین عدم روابط مناسب پاکستان با دیگر کشور همسایه، هندوستان به علت مسائل سیاسی، و همچنین وضعیت ناپایدار و عدم امکان رفع نیازهای فنی و تجاری توسط افغانستان دیگر همسایه این کشور، می‌تواند مزیتی برای کشور ما در امر تبادل کالا و خدمات با پاکستان باشد. اقلیم مناسب استان سیستان و بلوچستان برای ساخت نیروگاه‌های خورشیدی و صادرات انرژی الکتریکی کشور از این منبع نامحدود و تجدیدپذیر، فرایندی مناسب می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزار ArcGIS مناسبترین مکان‌های نصب پانل خورشیدی در شهرهای میرجاوه، پیشین و ریمدان تعیین شده و با استفاده از نرم‌افزار PVSOL میزان انرژی تولیدی در این قطعات زمین تخمین زده شده است. نتایج خروجی شبیه‌سازی نشان داده است که نصب پانل‌ها در جهت شرق-غرب در این موقعیت‌ها می‌تواند منجر به استقرار نیروگاه‌های خورشیدی ۲ MW در هر هکتار زمین شود و سالیانه با صادرات برق حاصل از این تولید، بیش از ۴۰۰ میلیارد ریال به ازاء هر هکتار پانل خورشیدی نصب شده، درآمدزائی نمود. این امر علاوه بر توسعه پایدار و اشتغال در استان سیستان و بلوچستان منجر به کاهش مشکلات اجتماعی و افزایش امنیت خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: انرژی تجدیدپذیر خورشیدی، توسعه پایدار، سیستان و بلوچستان، صادرات برق، PVSOL

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

۱. مقدمه

مبادلات تجاری مرزی یکی از شاخص‌های اصلی در برقراری ارتباط بین کشورهای همسایه و امرار معاش مردم مرزنشین است. در مرزهای بسیاری از جوامع در حال توسعه، سطح قابل توجهی از نیاز مردم از طریق مبادلات مرزی آنان تامین می‌شود. با اینکه اینگونه مبادلات به صورت غیررسمی و محلی است، اما نقش پر اهمیتی در مبادلات میان این کشورها داشته و باعث بهبود زندگی ساکنین نقاط مرزی می‌شود. توجه به چنین مبادلات و داد و ستدهایی در نوع خود، افزایش و توسعه همکاری های متقابل اقتصادی، ایجاد صلح و ثبات در مناطق مرزنشین و در بهبود امنیت در این مناطق، بهبود زیرساخت‌ها و خدمات مورد نیاز منطقه و حتی کشور را به همراه دارد. توجه به اقتصاد مرزنشین‌ها می‌تواند نقش ویژه‌ای در رفاه، پیشرفت و توسعه اقتصادی نواحی مرزی، افزایش استانداردهای زندگی مردم و بهبود آن، کاهش فقر، توزیع مناسب درآمد، ایجاد فرصت‌های شغلی، استمرار و پایداری دوستی و تفاهم طرفین، تسریع همکاری‌های بیشتر بین نواحی مرزی شود. از برنامه‌ها برای بهبود معیشت مرزنشینان، پویایی اقتصاد نواحی مرزی است که به عنوان یک شاخص اصلی در برقراری ارتباط بین کشورهای همسایه و نیز بهبود امرار معاش مردم مرزنشین به شمار می‌رود، بدین معنی که از این طریق مردم ساکن در نواحی مرزی کشورهای همسایه می‌توانند در کنار هم و با یکدیگر از فرصت‌ها و منابع مشترک استفاده نمایند و این امر می‌تواند منجر به دوستی و تفاهم طرفین، امنیت و رونق اقتصادی و توسعه، ایجاد فرصت‌های شغلی و شکل‌گیری یک نوع مزیت نسبی در مناطق مرزی گردد (ریگی و همکاران، ۱۴۰۰). به طور کلی دیدگاه غالب دربارهٔ نقش مرزها، به‌ویژه در ادبیات توسعهٔ مناطق مرزی، به دو صورت ارائه شده است: نخست مـرز به منزلهٔ خطی جداکننده و دوم مرز به منزلهٔ منطقهٔ تماس. از دیدگاه نخست، مرزها به منزلهٔ مانع یا فیلتر، هزینهٔ معاملاتی و تبادلاتی زیادی را به بار می‌آورند. به بیان دیگر، مرزی که مانع مشروع شکل‌گیری نظام‌های نهادی، سیاسی و اجتماعی در منطقهٔ مرزی باشد، مانعی در برابر جریان آزاد اطلاعات و تشدید پیچیدگی‌های بازار است. اما در دیدگاه مرز به مانند یک منطقهٔ تماس، منطقهٔ مرزی به صورت ناحیه‌ای است با شبکه‌ای از بنگاه‌های اقتصادی و سایر شبکه‌های اجتماعی دیگر که فراتر از خطوط مرزی، روندها، فرصت‌ها و مزایای جدیدی خلق می‌کنند، و نقش مرز از یک مانع به یک پل ارتباطی یا به بیان ساده‌تر از یک دیوار به منبعی ارزشمند تبدیل می‌شود. یکی از برنامه‌ها برای بهبود معیشت مرزنشنان، پویا کردن اقتصاد نواحی مرزی است که به عنوان یک شاخص اصلی در برقراری ارتباط بین کشورهای همسایه و نیز بهبود امرار معاش مردم مرزنشین به‌شمار می‌رود. اقتصاد کشور پاکستان، اقتصادی در حال توسعه است. با وجود اینکه در سال

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

۱۹۴۷ این کشور بسیار فقیر بود، نرخ رشد اقتصادی پاکستان در طول ۴ دهه بعد از آن بهتر از میانگین جهانی بوده است. نرخ‌های رشد تولید ناخالص ملی پاکستان در ۵ سال اخیر شاهد یک افزایش ثابت بوده‌اند. خط مرزی ایران و پاکستان نام سرحد و حاشیه بین دو کشور ایران و پاکستان به فاصله ۹۵۹ کیلومتر می‌باشد که این دو کشور را از یکدیگر جدا می‌کند. این مرز از نقطه تقاطع مشترک ایران، پاکستان و افغانستان آغاز می‌شود و خطی نسبتاً مستقیم به سمت جنوب شرقی را دنبال می‌کند تا به چشمه‌های آب گرم برسد. در انتها، مرز به خلیج گواتر در دریای عمان ختم می‌شود. ایران و پاکستان دارای سه مرز رسمی مشترک میرجاوه، پیشین و ریمدان می‌باشند. منطقه همجوار استان سیستان و بلوچستان در پاکستان ایالت بلوچستان، بزرگ‌ترین ایالت این کشور است، و حدود ۴۴ درصد از خاک پاکستان را دربرمی‌گیرد. ایالت بلوچستان در جنوب غرب پاکستان واقع شده و مساحت آن ۳۴۷ هزار و ۱۹۰ مترمربع است. منطقه بلوچستان پاکستان به همراه بلوچستان ایران از تنگه هرمز تا شبه قاره هند ادامه دارد و بدین طریق کوتاه‌ترین مسیر برای آسیای مرکزی به دریاهای آزاد است. همچنین سرمایه-گذاری در حوزه بندر گوادر، ایجاد منطقه آزاد تجاری-صنعتی، ساخت فرودگاه بین‌المللی بزرگ در این ایالت از برنامه‌های آتی دولت پاکستان در این ایالت است. همین امر موجب شده کشورهای دیگر نظیر چین برای انتقال محموله‌های خود اقدام به سرمایه‌گذاری صنعتی و همچنین در حوزه راه و راه‌آهن نماید. وسعت این ایالت و همچنین موقعیت ژئوپولتیک آن، اهمیت اقتصادی و اجتماعی و پتانسیل فراوان این بخش و بازار وسیع آنرا دو چندان نموده است. عمده صادرات ایران به پاکستان شامل نفت و سوخت های فسیلی، میوه و سبزی‌جات، سرامیک، فولاد و آهن، محصولات معدنی و سنگ‌های مختلف، چرم و پوست حیوانات، کفپوش و فرش، شیشه و محصولات شیشه‌ای و مواد آلی است. اما نکته مهم در مورد نیازهای اساسی این کشور، در کنار مواد غذایی و صنعتی، بیشترین میزان واردات پاکستان از کل جهان سوخت و نفت است که نیاز اساسی بازار انرژی این کشور است. در این میان ایران دارای رقبای زیادی از جمله کشورهای عربستان، کویت و امارات متحده عربی است، و این موضوع زنگ خطری برای مبحث صادارت است، علاوه بر اینکه با توجه به سرمایه‌گذاری‌های نوینی که این کشورها در صنایع نفتی و پتروشیمی خود دارند، قیمت تمام شده محصولات نهائی آنها نسبت به ایران پائین‌تر می‌باشد. بر اساس پژوهش‌های انجام شده میزان انرژی مورد نیاز در ایالت بلوچستان پاکستان تا سال ۲۰۳۰ بیش از ۳۹۹ TWh است (Reza and et al, ۲۰۲۲). عمل دیگری که منجر به افزایش میزان تقاضا در حوزه انرژی در کشور پاکستان، ضریب پائین بهره‌وری انرژی در صنایع آن است که شدت مصرف انرژی را در این کشور افزایش داده است(Rehman and Deyuan, ۲۰۱۸). این عوامل و قابلیت‌ها نشاندهنده امکان صادارت خدمات تولید انرژی به بازار ۲۰۰ میلیون

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

نفری کشور پاکستان در کنار ارسال سایر اقلام مورد نیاز است. با توجه به رشد جمعیت این کشور و همچنین توسعه فنی، اقتصادی و اجتماعی، نیاز به انرژی در پاکستان روندی صعودی خواهد داشت. البته باید در نظر داشت که کشور پاکستان برای تامین انرژی مورد نیاز خود برنامه‌ای تحت عنوان طرح یکپارچه انرژی برای توسعه پایدار[۱] را در نظر گرفته است و بنا دارد بر اساس این برنامه تا سال ۲۰۳۰ کلیه نیازهای خود را از طریق نیروگاه‌های گازی و فسیلی و همچنین انرژی‌های تجدیدپذیر تامین نمایند. انرژی یکی از مهمترین مولفه‌های مورد توجه بازیگران منطقه‌ای و فرامنطقه‌ای است که می‌تواند زمینه لازم جهت ارتقاء موقعیت اقتصادی و سیاسی را فراهم آورد. در این میان ایران با موقعیت جغرافیایی و ژئوپولوتیکی ویژه‌ای که برای منطقه محصور در خشکی آسیای مرکزی دارد، یک کشور ترانزیتی مطلوب است (عسگری و فرامرزی‌فرد، ۱۳۹۸). از منظر سیاسی و امنیتی، صادارت و تبادل برق می‌تواند موجب ثبات وابستگی کشورهای همسایه به ایران را فراهم آورد. یکی از ابعاد مهم اقتصادی حمایت از صادرات برق، مسئله شکل‌گیری بازارهای برق منطقه‌ای است. آمارهای جهانی نشان داده است در دهه‌های اخیر تشکیل بازارهای منطقه‌ای در بسیاری از کشورهای جهان ایجاد شده است که ایده اصلی آن تهیه برق ارزان و مطمئن برای مشترکان است. دو ویژگی اصلی تجارت انرژی و پروژه‌های مرتبط با آن، سرمایه‌گذاری‌های بلندمدت و اعمال ریسک برای انجام یک پروژه است. لذا اعتماد و امنیت دو عامل مهم برای شرکت‌ها، بانک‌ها و سرمایه‌گذاران در نظر گرفته می‌شوند (منظور و مظلومی، ۱۳۹۹).

۲. پیشینه تحقیق

یکی از اهداف راهبردی و کلان وزارت نیرو، تبادل انرژی الکتریکی با کشورهای همسایه است. با توجه به مزیت نسبی ایران در تبادل انرژی الکتریکی با کشورهای همسایه از قبیل تنوع منابع تولید، پهنه جغرافیایی وسیع و گستردگی شبکه، قرار گرفتن در منطقه ترانزیتی الکتریکی و اختلاف افق با کشورهای همسایه، راهبرد توسعه تبادل انرژی الکتریکی یکی از مهمترین سیاست‌های کلان وزارت نیرو در توسعه اقتصاد برق و افزایش همکاری با کشورهای همسایه است. در این مسیر استفاده از فناوری‌های EHVAC[۲] و HVDC[۳] برای انتقال برق سبب افزایش بازدهی شبکه انتقال، انتقال توان

[۱].Integrated Energy Planning for Sustainable Development(IEP)
[۲].Extra High Voltage Alternative current
[۳].High Voltage Direct current

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

بیشتر در مسافت‌های طولانی‌تر، صرفه‌جویی اقتصادی و بهره‌وری بالای شبکه انتقال می‌شود. افزایش حجم توان‌های انتقالی بین مراکز تولید و مصرف، افزایش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در مقیاس گسترده و فاصله بین مراکز تولید این انرژی تا نقاط بار، از جمله رویکردهای موجود به فناوری انتقال توان در ظرفیت بالا و در مسافت‌های طولانی است (حسن‌زاده و برهمندپور، ۱۳۹۵).

با توجه به بحران‌های ناشی از استفاده بی‌رویه از سوخت‌های فسیلی مانند آلودگی‌های زیست-محیطی که منجر به خسارت به اکوسیستم شده است، و کاهش محسوس منابع و ذخایر گاز و نفت، توجه به مساله انرژی‌های نو، تبدیل به یک ضرورت شده، و از یک انتخاب به یک الزام مبدل شده است. انرژی تجدیدپذیر خورشیدی با استفاده از منبع سرشار خدادادی، منجر به ایجاد فرصت کسب کار نوین و ایجاد شغل‌های جدید می‌شود. نیروگاه‌های خورشیدی با استفاده از فناوری ساده‌تر نسبت به دیگر نیروگاه‌ها و هزینه بسیار پائین تعمیر و نگهداری، باعث توسعه نواحی دورافتاده شده و با اشتغالزایی مستقیم و غیر مستقیم، از مهاجرت روستائیان جلوگیری می کند (احمدی و اعلمی، ۱۳۹۱). با وجود هزینه سرمایه‌ای وعملیاتی زیاد برای انتقال گاز، درآمد حاصل از فروش گاز، در برابر درآمد فروش برق بسیار ناچیز است. به شکل کلی هزینه سرمایه زیاد انتقال گاز با توجه به درآمد سالیانه حاصل از فروش آن مقرون به صرفه نیست و این در حالی است که نیروگاه خورشیدی و ترکیبی(بادی/خورشیدی) با توجه به هزینه سرمایه‌ای کم نسبت به انتقال گاز برای نیروگاه‌های گازی، درآمد بیشتری نسبت به فروش گاز دارد و برای نقاط پراکنده کاملا مقرون به صرفه‌تر از انتقال گاز است (صادقی و همکاران، ۱۴۰۰). نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که قیمت برق تولیدی توسط از سوخت‌های فسیلی از هزینه تمام شده برق تولیدی از نیروگاه‌های تجدیدپذیر بیشتر است. همچنین نتایج حاکی از آن است که فناوری‌های تجدیدپذیر بیشترین انطباق را با معیارهای پایداری دارند (گنجوی و همکاران،۱۳۹۹).

از طریق اتصال شبکه های برق کشورهای همسایه می‌توان به مزایای قابل توجهی از تجارت برق دست یافت. از طریق اتصال شبکه های برق کشورهای همسایه می‌توان به مزایای قابل توجهی از تجارت برق دست یافت. علاوه بر این، تولید برق را می‌توان در برخی مناطق با استفاده از منابع تجدیدپذیر بهینه کرد و به مناطق با تقاضای بالا صادر کرد. در پژوهشی اثربخشی کاهش تغییرپذیری منبع تغذیه ساعتی با ادغام فناوری‌های تولید برق بادی و خورشیدی ارزیابی شده است. نتایج محاسباتی با استفاده از مدل پیشنهادی، تجارت توان بهینه‌ای را بین ایران و کشورهای همسایه از جمله ترکیه، ترکمنستان، افغانستان، پاکستان، آذربایجان، ارمنستان و عراق به دست آورده شده است. در نتیجه، ایران می‌تواند حداکثر ظرفیت ۵۳۰۰ مگاوات برق را به همسایگان خود صادر کند که عراق با ۲۰۰۰

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

مگاوات بیشترین سهم را دارد. زمانی که تقاضای برق در ایران زیاد باشد، ترکیه، ترکمنستان، آذربایجان و ارمنستان می توانند به ترتیب ۱۲۰۰، ۱۰۰۰، ۸۰ و ۱۰۰ مگاوات برق به ایران صادر کنند(Eghlimi and et al,۲۰۲۲).

منابع عظیم خورشیدی در کشورهای خاورمیانه و شمال آفریقا، پیشرفت‌های قابل توجه در فناوری انرژی خورشیدی متمرکز[۱] و فناوری‌های انتقال نیرو، و نیاز فوری به حذف انتشار کربن از سیستم انرژی اروپا، منجر به علاقه‌مندی این اتحادیه به سرمایه‌گذاری در بخش انرژی خورشیدی در این کشورها شده است. در مطالعه‌ای بر اساس پتانسیل‌های انرژی خورشیدی در کشورهای خاورمیانه و شمال آفریقا، با استفاده از سنجش از دور، داده‌های عملکرد و هزینه بررسی‌شده فناوری‌های تولید و انتقال، و داده‌های جغرافیایی و سیستم‌های اطلاعاتی، موقعیت‌های جغرافیایی مناسب و مستعد در این مناطق شناسایی شده‌اند. نتایج نشان داده است که کل پتانسیل فنی تولید نیروی خورشیدی از تجزیه و تحلیل سنجش از دور در هفت کشور خاورمیانه و شمال آفریقا، حدود TWh ۵۳۸۰۰۰ در سال است. نتایج نشان داده است تنها با ۰/۲٪ زمین‌های موجود در این کشورها که مستعد نصب سیستم‌های خورشیدی متمرکز هستند می‌توان ۱۵٪ از تقاضای انرژی اروپا تا سال ۲۰۵۰ را تامین نمود. در این پژوهش ۳۳ مسیر انتقال این انرژی به اروپا نیز مورد پایش قرار گرفته است(Trieb and et al,۲۰۱۲).

بر اساس تحقیقات میدانی صورت پذیرفته در استان سیستان و بلوچستان برای امکان‌سنجی نصب پانل‌های خورشیدی، ۱۴/۲۳٪ از مساحت استان دارای وضعیت بسیار مطلوب، ۲۸/۷۹٪ در محدوده مطلوب، ۲۷/۸۶ در محدوده متوسط و ۲۹/۱۰ از کل مساحت این استاندر محدوده نامطلوب برای نصب پانل خورشیدی و اخذ انرژی تجدیدپذیر از آن تعیین شده است(Mogheri and et al,۲۰۱۳). در پژوهشی در سال ۱۳۹۶، پتانسیل شهرستان‌های استان سیستان و بلوچستان به منظور احداث نیروگاه خورشیدی مورد سنجش قرار گرفته است. معیارهای اصلی این پتانسیل‌سنجی شامل ساعت‌های آفتابی، درجه حرارت منطقه، ابرناکی، بارندگی، گرد و غبار و ارتفاع است. جهت تجزیه و تحلیل اطلاعات، با روش درون‌یابی (IDW) و فازی سازی لایه‌ها با استفاده از فرمول‌نویسی منطق فازی در محیط GIS صورت گرفته است. همچنین برای تعیین میزان اهمیت متغیّرها، از مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شده است. با تلفیق لایه‌های وزن‌دهی شدهٔ فازی، نقشهٔ مناطق هم‌پتانسیل برای احداث نیروگاه خورشیدی در استان سیستان و بلوچستان به دست آمد که در نهایت نتایج نشان می‌دهد، شهرهای

[۱] . concentrating solar power (CSP) technology

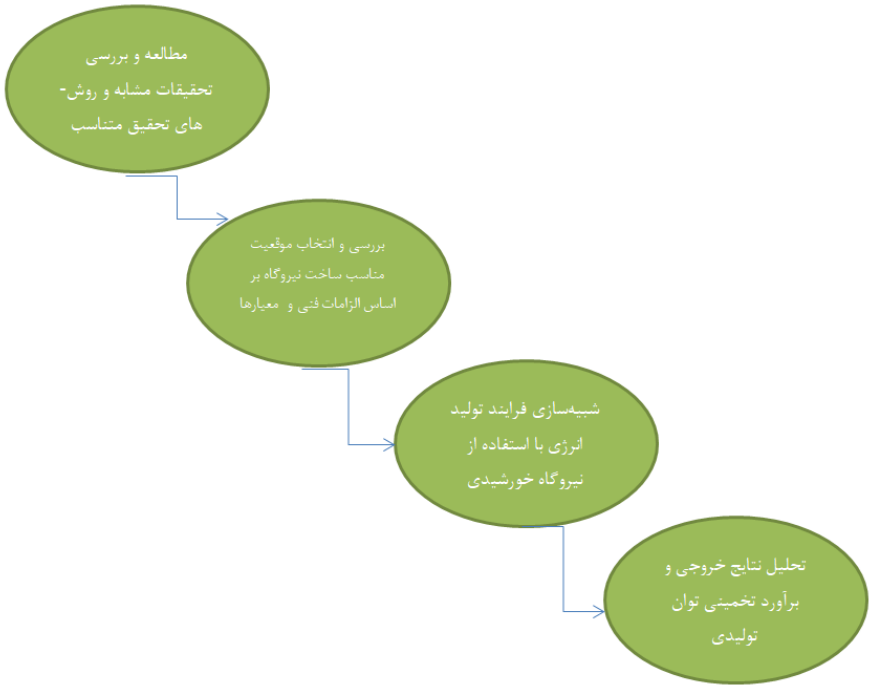
[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

سراوان و نیک شهر برای احداث نیروگاه خورشیدی کاملاً مناسب، خاش و قسمت‌هایی از شهرستان ایرانشهر به‌عنوان مناطق مناسب و نسبتاً مناسب؛ زابل، زاهدان، چابهار، کنارک و قسمتی از شهرستان ایرانشهر نسبتاً نامناسب و کاملاً نامناسب هستند(Rahimi and et al,۲۰۱۷). مهمترین عمل برای امکان‌سنجی ساخت نیروگاه‌های تجدیدپذیر در هر منطقه، بررسی شرایط اقلیم و میزان تابش و مسیر خورشید در ان منطقه است، که پژوهش‌های انجام شده نشان داده است که منطقه جنوب شرق ایران دارای شرایط مناسب نصب پانل‌های خورشیدی است (Zahedi and et al, ۲۰۲۳). تحقیقات و پژوهش‌های جدید انجام شده در مورد پتانسیل‌های تولید انرژی در ایران، پتانسیل استان سیستان و بلوچستان را علاوه بر تولید از طریق انرژی خورشیدی در مناطق میانی، دارای قابلیت تولید با استفاده از توربین‌های بادی در شمال این استان، منطقه زابل، و استقرار توربین‌های آبی در دریا در جنوب استان برای تامین انرژی پایدار نشان داده است(Pourkiaei and et al,۲۰۲۱).

۳. روش‌شناسی

برای انجام این پژوهش در ابتدا مراجع مرتبط و فرایندهای مشابه مطالعه و برررسی شده است. با استفاده از مطالعه دیگر مراجع، انتخاب موقعیت مناسب با استفاده از توانمندی‌های نرم‌افزاری صورت پذیرفته است. پایش محل مناسب منتج به شبیه‌سازی فرایند تولید انرژی تجدیدپذیر شده است، و در نهایت نتایج خروجی شبیه‌سازی و توان بهینه اخذ شده مورد تجزیه و تحلیل قرار داده شده است (شکل۱). اولین عامل فنی و تاثیرگذار که فرایند نصب و انتقال انرژی الکتریکی نیروگاه تجدیدپذیر را مقرون به صرفه می‌نماید، نزدیکی خطوط انتقال و تاسیسات در مرز ایران و پاکستان است. لذا برای نصب این تجهیزات سه شهر میرجاوه، پیشین و ریمدان استان سیستان و بلوچستان که کمترین فاصله مرزی را با پاکستان داشته و راه‌های ترانزیت و همچنین خطوط انتقال در آنها موجود بوده، به عنوان شهرهای پایلوت برای نصب نیروگاه انتخاب شده‌اند. مهمترین عامل در انتخاب مکان مناسب برای نصب نیروگاه‌های خورشیدی شرایط اقلیمی، تابش، سرعت باد در منطقه و دمای آن می باشد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

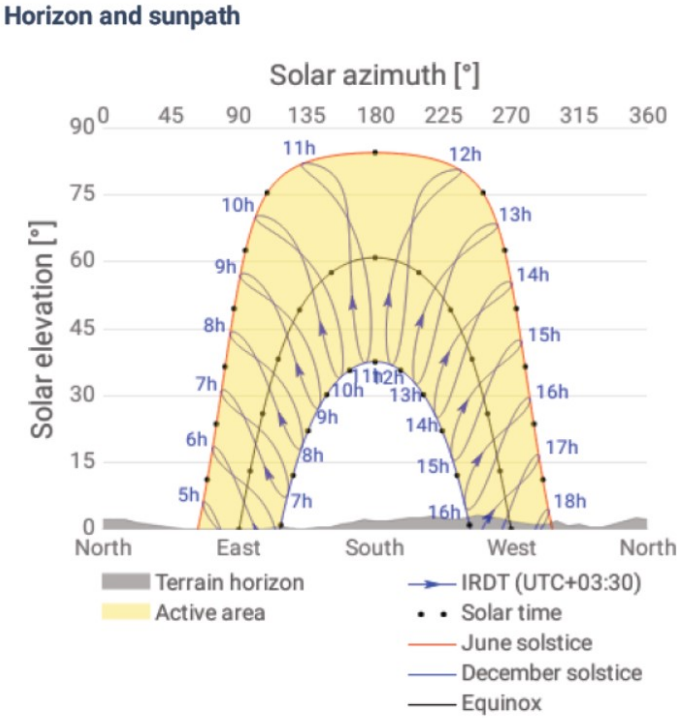


شکل۱. فرایند انجام پژوهش و روش تحقیق

به منظور بدست آوردن داده‌های قابل اطمینان از میزان تابش و محدوده دما، میزان ابرناکی منطقه و وجود غبار در منطقه است. این بخش مهمترین فرایند موجود در پژوهش می‌باشد، زیرا نبود تابش مناسب در منطقه موجب کاهش بهره‌وری توان خروجی پانل‌های خورشیدی، و در نتیجه غیر اقتصادی بودن طرح و در نهایت منجر به توقف فرایند خواهد شد. داده‌های اخذ شده از اطلاعات ۲۰ ساله میزان تابش و اقلیم مناطق مرزی است. این دو عامل تاثیر بسیار زیادی بر روی توان خروجی نیروگاه خورشیدی دارند. آگاهی کامل از مسیر خورشید برای شکل دادن و پیش‌بینی محاسباتی، کارآیی سیستم سالانه خورشیدی و تحلیل کمینه و بیشینه زاویه خورشید در موقعیت مورد مطالعه ضروری است. شکل ۲ نشاندهنده مسیر خورشید[۱] است که بر این اساس کمینه زاویه در زمستان در حدود ۳۵ درجه و بیشینه آن در تابستان و در حدود ۸۳ درجه می‌باشد (شکل۲).

۱. Sun Path

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]



شکل۲. مسیر خورشید در منطقه سیستان و بلوچستان بر گرفته از پایگاه داده

https://globalsolaratlas.info

انتخاب موقعیت مناسب برای نصب نیروگاه خورشیدی و پانل‌های آن از اهمیت حیاتی برخوردار است. قانون شفاف و دقیقی برای این شرایط وجود ندارد و عمدتا این جانمائی بر اساس پژوهش‌های انجام شده توسط محققان و تحقیقات گروه‌های بین‌المللی صورت پذیرفته و متناسب با تجربیات و شرایط اقلیم منطقه است. مهمترین عوامل تاثیرگذار در بازدهی توان خروجی نیروگاه خورشیدی عبارتند از میزان تابش، شرایط آب و هوائی، کاربری زمین و میزان زمین در دسترس، توپوگرافی و شیب منطقه، ژئوتکنیکال منطقه، دسترسی به خطوط انتقال برق و جاده، وجود آب و در نهایت میزان گرد و غبار در منطقه(George,۲۰۱۲). بر این اساس با تعیین ضریب اهمیت هر یک از این عوامل و تلفیق آنها با سامانه اطلاعات جغرافیایی ArcGIS، می‌توان زمین‌ها و موقعیت‌های مناسب‌تر را شناسایی نمود. بدین منظور برای هر یک از این عوامل ضریب اهمیت تعیین می‌شود، که به روش دودویی است. در این روش معیارها مقایسه می‌شوند و درجه اهمیت هر معیار نسبت به دیگری مشخص

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

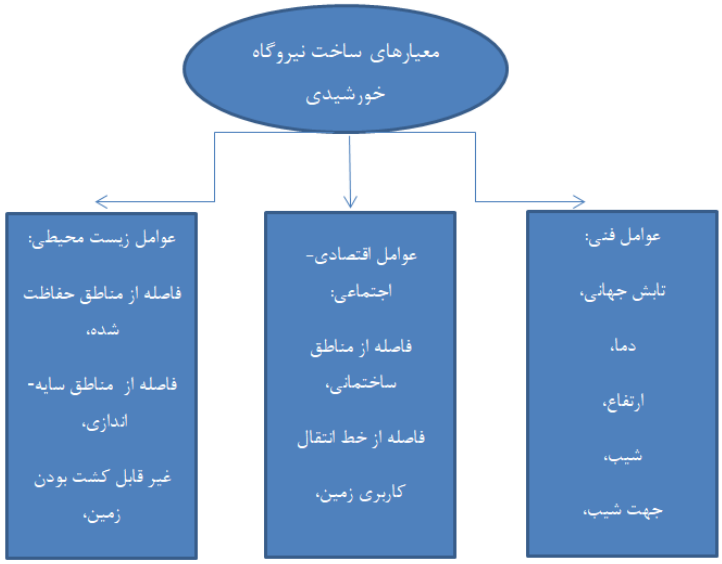
خواهد شد(Sadegi and et al, ۲۰۱۱). با استفاده از روش AHP[۱] در نرم‌افزار ArcGIS در چهار مرحله زیر انجام شده است(Al Garani and et al, ۲۰۱۷, Taoufik and et al, ۲۰۲۱):

- تهیه نقشه‌های زمین‌مرجع شده با در نظر گرفتن محدودیت‌ها و وزن‌دهی پارامترهای موثر،
- بکارگیری تکنیک‌های AHP برای تعیین اهمیت نسبی و اولویت وزن هر معیار،
- ارزیابی کلی مکان‌های انتخاب شده با بکارگیری حاصل‌جمع رویه پوششی بوسیله ابزارهای ArcGIS،
- در نهایت، سایت‌های غیرقابل اجرا تولید شده در مرحله اول از مناطق بالقوه برای انتخاب سایت PV خورشیدی حذف می‌شوند.

بر این اساس عوامل موثر تعیین، و در جانمائی به سه دسته زیست‌محیطی، اقتصادی و فنی تقسیم-بندی شده است (شکل۳). متناسب با این عوامل معیارهای فنی ضریب ۴، معیارهای زیست‌محیطی ضریب ۲ و معیارهای اقتصادی ضریب ۱ داده می‌شود و بر اساس آن این داده‌ها به نرم‌افزار ArcGIS وارد می‌شود. این ضرایب با توجه به اهمیت موضوع و بر اساس روش‌های نوین مکان‌یابی در نرم‌افزار ArcGIS تعریف می‌شوند. مقادیر فوق بر اساس اهمیت فرایند و با توجه به نوع مکان‌یابی در روش AHP تعریف شده‌اند.

۱. Analytic Hierarchy Process

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

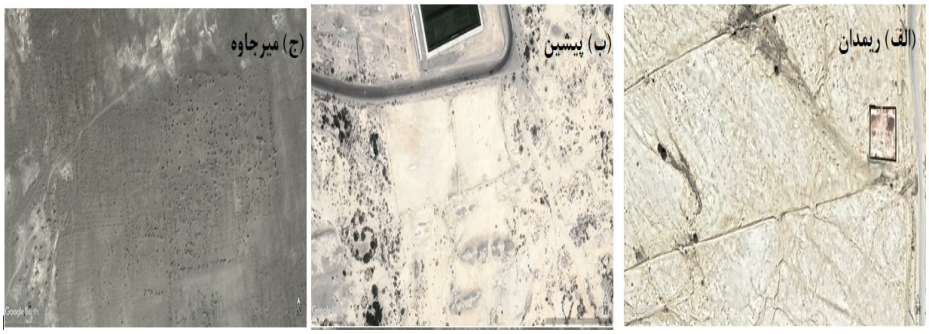


شکل۳. معیارهای انتخاب مکان ساخت نیروگاه خورشیدی

با توجه به شرایط مذکور اقلیمی، توپولوژی، اقتصادی و ... تعداد ۱۱ قطعه زمین با متراژهای متفاوت در شهرهای مورد نظر برای نصب نیروگاه خورشیدی انتخاب شده و با استفاده از معیارهای اشاره شده به سیستم تحلیل مکانی و انتخاب موقعیت ArcGIS وارد می‌شود. این زمین‌ها در مکان‌های مختلف شهرهای ریمدان، میرجاوه و پیشین بود. انتخاب موقعیت مناسب دارای اهمیت بسزایی در بهبود عملکرد نیروگاه، کاهش ریسک خطرات احتمالی، افزایش بهره‌وری توان خروجی و همچنین مزیت اقتصادی و کاهش هزینه‌ها داراست. بر این اساس و با توجه به شرایط مذکور در روش مکان‌یابی و امتیازدهی ذکر شده، از بین ۱۱ موقعیت بهترین مکان برای نصب نیروگاه مورد پایش قرار گرفته شد. نتیجه این تحلیل، سه منطقه با موقعیت‌های متفاوت در مکان‌های متفاوت شهرهای مرزی مد نظر انتخاب شده است (شکل۴). موقعیت جغرافیایی زمین‌های انتخاب شده در محدوده شهری و نزدیک به مرز و خطوط انتقال نیرو می‌باشد، که دارای توپولوژی مناسب و به دور از سازه و یا عارضه بلند که منجر به سایه-اندازی شود. پس از انتخاب موقعیت مناسب برای نصب سیستم‌های پانل خورشیدی، نیاز است که بر اساس این معیارها شبیه‌سازی انجام شود. به منظور شبیه‌سازی از نرم‌افزار PVSOL Premium

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

نسخه۲۰۲۱ استفاده شده است. قابلیت سه بعدی این نرم‌افزار، استفاده از الگوریتم‌های مناسب برای تابش و همچنین پایگاه داده تجهیزات خورشیدی متنوع این نرم‌افزار، موجب شده است خروجی شبیه‌سازی عدم قطعیت کمی داشته باشد و در صورت ورود داده‌های اولیه مناسب و دقیق، توان خروجی کمترین انحراف را با نتایج عملیاتی داشته باشد. به منظور جلوگیری از اثر سایه‌اندازی[۱] پانل‌ها بر روی یکدیگر، و در نتیجه کاهش توان خروجی، فاصله بین پانل‌ها باید بگونه‌ای تعیین شود که کمترین میزان سایه‌اندازی روی دهد و همزمان این فاصله نباید به اندازه‌ای باشد که موجب افزایش مساحت مورد نیاز و در نتیجه افزایش مقدار کابل، زیرساخت و هزینه‌های ساخت شود(George , ۲۰۱۲).



شکل۴. موقعیت‌های انتخاب شده بر اساس روش AHP در (الف) ریمدان، (ب) پیشین، (ج) میرجاوه

برای تعیین فاصله بهینه بین پانل‌ها (D)، سه پارامتر دیگر مورد نیاز است، H عرض پانل می‌باشد، برای آرایش عمودی H برابر با طول ضلع بزرگتر پانل و در آرایش افقی برابر ضلع کوچکتر می‌باشد. دو پارامتر دیگر یکی عبارت است از زاویه نصب پانل نسبت به سطح افق(θ) و دیگری زاویه تابش خورشید(α) می‌باشد. تعیین α از طریق منحنی‌های مسیر خورشید انجام می‌شود. در نهایت فاصله بین پانل‌ها از رابطه ذیل تعیین می‌شود(George , ۲۰۱۲).

$$D = \sin(\alpha + \theta) \times {}^{H}/_{\sin(\alpha)} \qquad (۱)$$

۱.Shading

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

زاویه α در واقع زاویه ارتفاع خورشید نسبت به زمین می‌باشد. این زاویه در عرض‌های جغرافیایی مختلف و فصول مختلف سال متفاوت می‌باشد. برای محاسبه آن مطابق شکل ۲ از منحنی‌های دو بعدی مسیر حرکت خورشید استفاده می‌شود. چنانچه مشخص است کمترین زاویه خورشید در طول سال مربوط به اواخر ماه آذر و اوایل دی ماه، و بیشترین آن مربوط به خرداد می‌باشد. با توجه به ابعاد و مشخصات جغرافیایی منطقه و همچنین مسیر خورشید در موقعیت مورد مطالعه، فاصله مناسب بین پانل‌ها در حدود ۵/۶۰ متر بدست آمد (جدول ۱). به منظور استفاده بهینه از فضا و افزایش توان خروجی در فرایند شبیه‌سازی، در هر آرایه دو پانل به صورت افقی قرار داده شده است.

جدول ۱. مشخصات موقعیت محل نصب برای تعیین فاصله بهینه بین پانل‌ها

مشخصه	مقدار
زاویه α	۴۱ درجه
زاویه θ	۲۶/۹ درجه
تعداد پانل در هر آرایه	۲
ارتفاع پانل H	۱۳۰۳ میلیمتر

برای محاسبه تابش پخش از الگوریتم هافمن[۱] استفاده شده است که رابطه آن به شکل زیر است (Hoffmann, ۲۰۱۷):

$$E_{clear} = ۰.۷۸E_{ext}\sin(\gamma_s)^{۱.۱۵} \quad (۲)$$

که در آن γ_s ارتفاع خورشید، E_{ext} تابش فرا زمینی است. با استفاده از الگوریتم هی و دیویس[۲] برای معادلات تابش سطح بدست می‌آید(Hoffmann,۲۰۱۷):

$$A_i = \frac{DNI}{E_a} \quad (۳)$$

۱.Hoffmann
۲.Hey & Davies

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

که در آن DNI تابش مستقیم متعامد و E_a میزان تابش بر روی زمین است. متناسب با شرایط تابش پانل‌ها و مبدل‌های[1] با توان خروجی متناسب و بهینه در شبیه‌سازی انتخاب شده است. مشخصات این پانل و مبدل‌ها متناسب با شرایط مورد نیاز و همچنین اقلیم منطقه و توان مورد نیاز است (جدول۲ و۳).

جدول ۲. مشخصات فنی پانل بکار رفته در شبیه‌سازی

نوع سلول	تک کریستال
ولتاژ در MPP	۳۸ ولت
شدت جریان در MPP	۱۷٫۵ آمپر
کارایی	۲۱٫۴۱٪
عملکرد سلول دو طرفه	۷۰٪
بیشینه ولتاژ	۱۵۰۰ ولت
ضریب پوشش	۷۸٫۰۲٪
تعداد سلول‌های موجود در هر پانل	۱۳۲

جدول۳. مشخصات فنی مبدل استفاده شده در شبیه‌سازی

توان خروجی اسمیDC	۴۰kW
بیشینه توان جریان DC	۵۵kW
ولتاژ اسمی DC	۸۶۰V
بیشینه ولتاژ ورودی	۱۱۰۰V
بیشینه شدت جریان ورودی	۷۴A
تعداد فاز	۳
توان AC	۴۰kW
مصرف تاریکی	۰٫۵W

برای استفاده بهینه در شبیه‌سازی و کاهش زمان اجرا، و کاهش عدم قطعیت نتایج، میزان انرژی تولیدی و توان خروجی پانل‌های خورشیدی در زمین‌هایی به مساحت ۱ هکتار برآورد شده است و بر اساس آن به سایر بخش‌ها تعمیم داده شده است. این قطعات زمین در سه شهر میرجاوه، پیشین و ریمدان

۱. Inverter

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

و بر اساس قابلیت انتخاب موقعیت[۱] نرم‌افزار ArcGIS تعیین شده است. بر این اساس علاوه بر تعیین میزان انرژی خروجی تولید شده، تعداد بهینه پانل‌های خورشیدی، زاویه مناسب نصب و همچنین تعداد مبدل‌های مورد نیاز نیز تعیین شده است. برای بدست آوردن حالت بهینه نحوه جهتگیری پانل‌های خورشیدی در دو روش جنوب سو و همچنین غرب-شرق یا دلتا وینگ شبیه‌سازی شده است. نتایج خروجی برای هر یک از موقعیت‌ها در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول۴. نتایج شبیه‌سازی خروجی نیروگاه خورشیدی در موقعیت‌های متفاوت استان سیستان و بلوچستان در قطعات یک هکتاری

موقعیت نصب	جهتگیری پانل-ها	توان خروجی اخذ شده(kW_p)	نسبت عملکرد(٪)	تعداد پانل‌ها	تعداد مبدل‌ها
میرجاوه	جنوب سو	۱۶۶۱٫۱۷	۷۱٫۱	۲۴۹۸	۶۳
	شرق-غرب	۱۹۴۱٫۸	۷۷٫۴	۲۹۲۰	۳۶
پیشین	جنوب سو	۱۶۸۹٫۱	۷۰٫۶	۲۵۴۰	۳۱
	شرق-غرب	۲۰۲۱٫۶	۷۷٫۵	۳۰۴۰	۳۸
ریمدان	جنوب سو	۱۸۲۳٫۲	۷۴٫۵	۲۸۷۵	۷۵
	شرق-غرب	۲۰۲۲٫۶۸	۷۹٫۴	۳۰۹۲	۳۴

بر اساس داده‌های خروجی شبیه‌سازی، نسبت عملکرد۲که عامل بسیار مهمی در تعیین مکان نصب نیروگاه‌های خورشیدی است در همه شش حالت و هر سه موقعیت جغرافیایی بیشتر از ۷۰٪ است که نشاندهنده مناسب بودن موقعیت‌های انتخاب شده برای نصب پانل خورشیدی است. از آنجائیکه نرم-فرازهای استفاده شده دارای توانمندی‌های مناسبی بوده و بر اساس پژوهش‌های انجام شده، نتایج خروجی آنها با نتایج خروجی عملیاتی اختلاف کمی دارد (بابایی و همکاران، ۱۳۹۷)، لذا می‌توان گفت نتایج شبیه‌سازی انجام شده در این پژوهش نیز دارای عدم قطعیت پائینی است و داده‌های خروجی دارای قابلیت اطمینان مناسبی هستند.

٤. یافته‌ها

داده‌های خروجی شبیه‌سازی نشان می‌دهد ساخت نیروگاه خورشیدی در زمین‌های غیر قابل کشت در مرز استان سیستان و بلوچستان با کشور پاکستان می‌تواند تامین کننده نیاز این شهر با انرژی پاک و

[۱] Site Selection
[۲] Performance Ratio(PR)

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

تجدیدپذیر خورشیدی باشد. میزان کم ابرناکی منطقه و همچنین کم بارش بودن این شهر، مزیتی است که منجر به افزایش کارائی این نیروگاه‌ها خواهد شد. یکی از مزیت‌های استان سیستان و بلوچستان برای نصب پانل‌های خورشیدی، استفاده مفید از وجود خورشید در منطقه است. بر اساس خروجی مدل نشان می‌دهد بیش از ۹ ماه از سال در استان سیستان و بلوچستان، ۱۰ ساعت از روز می‌توان انرژی خورشیدی مناسب را تولید نمود و از ساعت ۷ الی ۱۸ امکان استفاده بهینه پانل‌ها از انرژی خورشیدی وجود دارد (شکل۵). این موضوع یکی از مزیت‌های مناسب برای افزایش اثربخشی نصب نیروگاه‌های خورشیدی در موقعیت مورد مطالعه می‌باشد. افزایش مدت زمان استفاده از پانل‌های خورشیدی منجر به افزایش بهره‌وری فرایند تولید انرژی می‌شود و این موضوع یک مزیت رقابتی برای بکارگیری نیروگاه خورشیدی در این منطقه است. همچنین این موضوع باعث افزایش اثربخشی صادرات انرژی الکتریکی به کشور همسایه، پاکستان، خواهد شد. علاوه بر این، ساعت مفید اخذ انرژی میزان درآمد حاصل از صادرات را افزایش خواهد داد و سرمایه‌گذاری را مقرون به صرفه خواهد نمود. ماحصل زمان مناسب و اثربخش تابش خورشید بر روی زمین در نقاط و موقعیت‌های تعیین شده، منجر به افزایش میزان تابش خورشید در ماه‌های متفاوت سال خواهد شد. بر اساس خروجی نتایج شبیه‌سازی، میزان میانگین تابش عمودی مستقیم در منطقه مورد مطالعه در کل ماه‌های سال بیش از ۱۱۰ kWh/m^2 است و بیشینه آن در خرداد ماه با میانگین مقدار ۱۸۰ kWh/m^2 در پیشین و ریمدان و ۲۱۰ kwh/m^2 است (شکل۶). میزان تابش ماهیانه محاسبه شده در خروجی نرم‌افزار نشان از توان مناسب تولید انرژی خورشیدی پانل‌های خورشیدی در این مناطق می‌باشد. شرایط تابش در شهرهای پیشین و ریمدان بسیار مشابه است و در فصول پائیز و زمستان، که میانگین ماهیانه بیش از ۱۶۰ kwh/m^2 است و کمینه مقدار در تیر و مردادماه با ۱۰۰ kwh/m^2 می‌باشد. شرایط تابشی میرجاوه کمی متفاوت است و بیشنه مقدار تابش از شهریورماه تا دی ماه با ۲۰۰ kwh/m^2 است و کمینه مقدار در فروردین و اردیبهشت ماه با ۱۴۰ kwh/m^2 است. بر اساس پایش نتایج خروجی جهتگیری شرق-غرب سو در هر سه موقعیت میرجاوه، پیشین، ریمدان، دارای نسبت عملکرد بهتری بوده و توان خروجی آن نیز بیشتر است. علاوه بر اینکه در جهتگیری شرق-غرب، نحوه چیدمان پانل‌های خورشیدی، تعداد این پانل‌ها افزایش می‌یابد، اما سیستم کابل کشی و همچنین تعداد مبدل‌ها کاهش خواهد یافت که این امر موجب کاهش هزینه تمام شده ساخت نیروگاه‌های خورشید می‌شود.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

(الف) میرجاوه

Average hourly profiles

Direct normal irradiation [Wh/m²]

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0 - 1												
1 - 2												
2 - 3												
3 - 4												
4 - 5												
5 - 6				2	26	61	32	13	1			
6 - 7		1	63	148	206	281	236	237	228	105	34	2
7 - 8	267	265	314	340	359	438	397	450	483	453	414	339
8 - 9	550	501	465	464	477	553	523	579	624	597	636	615
9 - 10	658	605	564	559	562	637	614	671	717	694	730	712
10 - 11	717	670	632	608	603	681	665	726	772	748	777	771
11 - 12	750	699	665	618	598	695	680	746	795	768	790	801
12 - 13	739	694	653	592	561	686	674	732	786	744	769	782
13 - 14	703	639	587	534	506	653	642	701	740	693	716	729
14 - 15	625	573	502	443	437	592	581	642	667	611	633	662
15 - 16	529	484	417	361	357	505	489	547	558	485	502	538
16 - 17	174	304	300	259	258	391	369	414	378	159	109	119
17 - 18		18	67	81	122	239	210	186	51			
18 - 19					2	29	19	1				
19 - 20												
20 - 21												
21 - 22												
22 - 23												
23 - 24												
Sum	5711	5453	5228	5007	5075	6441	6130	6646	6801	6058	6111	6081

(ب) پیشین

Average hourly profiles

Direct normal irradiation [Wh/m²]

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0 - 1												
1 - 2												
2 - 3												
3 - 4												
4 - 5												
5 - 6				2	20	15	4					
6 - 7	1	1	65	157	175	125	56	61	105	92	60	
7 - 8	283	256	314	355	322	245	137	154	255	402	431	338
8 - 9	535	481	458	490	447	361	235	252	373	540	613	608
9 - 10	641	591	566	592	541	464	335	366	493	637	706	713
10 - 11	707	665	643	652	594	526	413	454	587	697	763	768
11 - 12	731	707	695	678	612	552	446	508	628	731	777	786
12 - 13	724	706	697	671	608	556	451	518	627	714	762	777
13 - 14	692	660	640	629	576	530	431	495	581	656	714	734
14 - 15	634	602	567	551	508	470	379	433	509	571	640	663
15 - 16	536	513	461	444	407	373	292	399	398	448	512	544
16 - 17	191	325	328	309	275	248	179	219	238	147	118	125
17 - 18		23	58	73	109	102	64	71	29			
18 - 19						1	1					
19 - 20												
20 - 21												
21 - 22												
22 - 23												
23 - 24												
Sum	5676	5529	5493	5604	5196	4568	3423	3871	4825	5636	6096	6056

(ج) ریمدان

Average hourly profiles

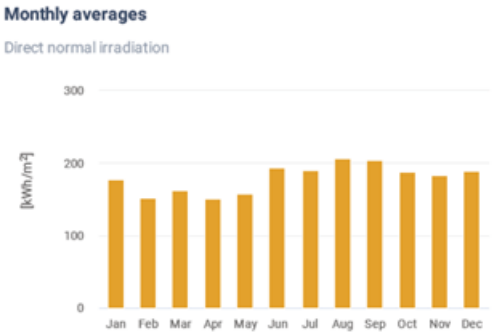
Direct normal irradiation [Wh/m²]

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0 - 1												
1 - 2												
2 - 3												
3 - 4												
4 - 5												
5 - 6				1	21	13	2					
6 - 7			55	158	182	123	48	56	109	98	56	
7 - 8	270	250	307	352	330	243	123	151	269	386	413	316
8 - 9	510	458	448	485	452	360	212	243	383	522	573	561
9 - 10	610	564	556	585	547	455	297	333	480	619	659	650
10 - 11	678	639	632	644	603	511	365	405	563	689	712	708
11 - 12	713	693	688	680	631	536	405	458	616	723	734	737
12 - 13	710	701	699	681	628	538	416	480	619	709	712	723
13 - 14	668	652	642	635	592	516	401	466	575	649	655	668
14 - 15	595	581	560	560	523	458	355	410	500	564	575	592
15 - 16	497	496	456	453	417	363	273	320	385	436	466	485
16 - 17	234	308	329	329	290	246	167	208	233	187	98	103
17 - 18	1	10	57	70	124	104	59	60	27			
18 - 19												
19 - 20												
20 - 21												
21 - 22												
22 - 23												
23 - 24												
Sum	5487	5352	5429	5634	5340	4467	3122	3589	4758	5582	5653	5544

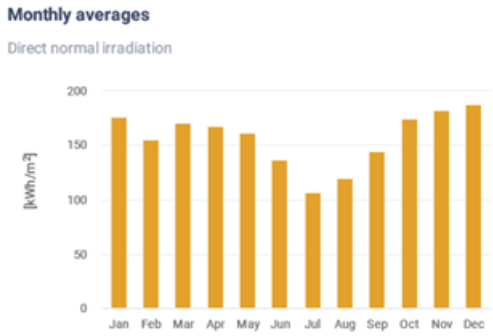
شکل۵. میانگین روزانه توان انرژی خورشیدی در مناطق مرزی سیستان و بلوچستان

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

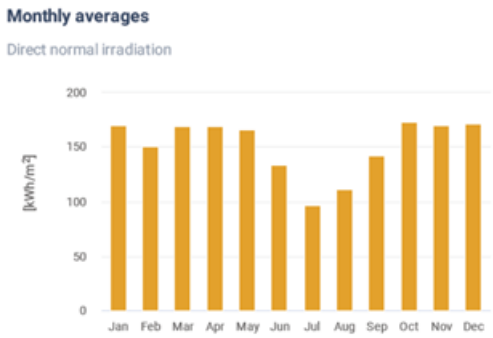
(الف) میرجاوه



(ب) پیشین



(ج) ریمدان



شکل٦. میانگین ماهیانه تابش بر روی سطح زمین در مناطق مرزی سیستان و بلوچستان

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

جدول۵. برآورد اقتصادی هزینه تمام شده نیروگاه و فروش انرژی حاصل از تولید سالیانه

موقعیت نصب	جهتگیری پانل‌ها	میزان انرژی تولیدی(kwh)به ازاء هر هکتار	قیمت فروش تضمینی برق(میلیون ریال)	هزینه حدودی ساخت نیروگاه(میلیون ریال)
میرجاوه	جنوب سو	۳۰۰۶۳۹۱	۳۸،۳۴۰	۴۰۰،۰۰۰
	شرق-غرب	۳۲۱۵۲۰۷	۴۱،۰۰۰	۵۲۰،۰۰۰
پیشین	جنوب سو	۱۹۲۱۵۱۳	۲۴،۴۸۰	۳۹۵،۰۰۰
	شرق-غرب	۳۲۶۸۵۶۷	۴۱،۶۴۰	۵۲۰،۰۰۰
ریمدان	جنوب سو	۳۰۹۸۹۴۴	۳۹،۴۸۰	۵۰۰،۰۰۰
	شرق-غرب	۳۱۶۹۶۷۰	۴۰،۳۸۰	۴۹۰،۰۰۰

بر اساس محاسبات موجود در جدول ۵، نصب نیروگاه خورشیدی شرق-غرب سو در شهرمیرجاوه و ریمدان دارای بیشترین صرفه اقتصادی است، و هزینه سرمایه گذار پس از ۶ سال برگشت داده خواهد شد. از آنجائیکه نیروگاه‌های خورشیدی هزینه تعمیر و نگهداری زیادی ندارد، در بلند مدت سرمایه-گذاری در این حوزه سودآور و دارای توجیه اقتصادی مناسبی برای بخش خصوصی است. با توجه به نرخ تضمینی خرید برق تولیدی از نیروگاه های خورشیدی، و تضمین ۲۰ ساله خرید، نرم‌افزار RetScreen برگشت سرمایه را طی ۶ سال نشان داده است. در صورتیکه دولت و مدیران این استان با استفاده از مشوق‌های متفاوت و وام‌های با بهره کم بتوانند متقاضان را برای سرمایه‌گذاری در این حوزه تشویق نمایند، علاوه بر آثار اقتصادی، منجر به آثار بسیار مثبت در حوزه اجتماعی و فرهنگی و ایجاد اشتغال پایدار در این مماطق مرزی خواهد شد.

در کنار تولید انرژی از روش‌های نوین وتجدیدپذیر، مهمترین اثر کاهش میزان آثار مخرب و گازهای آلاینده به محیط زیست در اثر تولید همان میزان انرژی با استفاده از نیروگاه‌های فسیلی و گازی است. نتایج خروجی شبیه‌سازی نرم‌افزار RetScreen نشان داده است که در اثر ساخت هر این نیروگاه‌ها در یک هکتار زمین در موقعیت‌های انتخاب شده، بیش از ۱۵۰۰ ton/year این مواد آلاینده و مخرب کاهش خواهند یافت.

۵. بحث و نتیجه‌گیری

بازار مناسب و بزرگ کشور پاکستان می‌تواند پتانسیل بسیار مناسبی برای سرمایه‌گذاری در حوزه انرژی باشد. بهینه‌ترین حالت تولید انرژی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر برای صادرات است. عدم

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

استفاده از نیروگاه‌های گازی، دیزلی و ...علاوه بر اینکه این ذخایر ارزشمند را حفظ می‌نماید، موجب می‌شود میزان مواد آلاینده خروجی از این نیروگاه‌ها به شکل محسوسی کاهش یابد. همه این موارد علاوه بر صرفه اقتصادی برای دولت و سرمایه‌گذار بخش خصوصی، منجر به کاهش مشکلات اشتغال در این مناطق محروم خواهد شد. بر اساس گزارش آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر[۱]، به ازاء هر ۱۰۰ مگاوات برق خورشیدی تولیدی، ۲۵۰ نفر به شکل مستقیم اشتغال زایی خواد شد. علاوه بر اینکه در مراحل ساخت سازه‌ها و اجرای زیرساخت‌های لازم، بخش‌های متنوعی از مشاغل در این امر دخیل خواهند شد. همچنین با فرهنگسازی در زمینه نصب پانل‌های خورشیدی بر روی سقف منازل، با توجه به شرایط اقلیمی مناسب مناطق ذکرشده، و فروش برق مازاد به شبکه سراسری، امکان ایجاد اشتغال پایدار برای ساکنین این مناطق وجود خواهد داشت. بر اساس پیش‌بینی سازمان ملل در برنامه هفتم توسعه با عنوان انرژی پاک و قابل دسترس، مطمئن، پایدار برای همه[۲]، موجب بیش از ۴۰۰ میلیون شغل در جهان خواهد شد. هم اکنون نیز علیرغم وجود پتانسیل بسیار مناسب ایران در ایجاد انواع نیروگاه‌های تجدیدپذیر، نسبت به دیگر کشورهای همسایه، به ویژه کشورهای حوزه خلیج فارس، عقب می‌باشد، که این امر اهیمت مطالعه، آمایش و ایجاد مشوق‌های سرمایه‌گذاری از این نعمت عظیم را چند برابر نموده است.

استان سیستان و بلوچستان به وجود وسعت بسیار زیاد و وجود کویر و دریا و مرز با کشورهای افغانستان و پاکستان، پتانسیل بسیار زیادی برای توسعه صادراتی خدمات را داراست. ضروری است مدیران و دولتمردان ضمن آمایش سرزمینی دقیقف علمی و گسترده در این استان، با تقویت حوزه صادرات از این بازار بزرگ بهترین استفاده را نمایند. تشویق سرمایه‌گذاران محلی و فرهنگسازی در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر در این استان پر پتانسیل منجر به افزایش امنیت، اشتغال و کاهش مخاطرات اجتماعی خواهد شد و در صورت ایجاد اشتغال پایدار اعتبارات از حوزه مرزبانی و امنیت به سمت صنعت، ترانزیت و بازرگانی پیش خواهد رفت.

علاوه بر این موضوع، امروزه استفاده چندگانه از پانل‌های خورشیدی روندی صعودی یافته است. به عنوان مثال به عنوان سقف گلخانه و پارکینگ‌ها، و یا استفاده برای سقف کانال‌ها و مخازن انتقال

---

۱ IRENA – International Renewable Energy Agency

۲. Affordable and clean Energy, Ensure access, reliable, sustainable for all

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

آب که منجر به کاهش تبخیر آب موجود در این مخازن می‌شود. پتانسیل مناسب استان سیستان و بلوچستان می‌توان نمونه مناسبی برای اشتغال پایدار از انرژی‌های تجدیدپذیر شود.

۶. منابع

احمدی، مصطفی. اعمی، حبیب‌الله.(۱۳۹۱)،" تحلیل وضعیت انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران و جهان و فرصت‌های سرمایه‌گذاری"، *دومین همایش ملی انرژی باد و خورشید*، تهران، ۳ اسفند.

بابائی، محمد. مشمول، علی. ابوترابی زارچی، حسین.(۱۳۹۷) ،" بررسی دقت نرم‌افزار PVSOL در تخمین میزان تولید انرژی خورشیدی با استفاده از داده‌های عملی"، *سی و سومین کنفرانس بین المللی برق*، تهران، آبان.

حسن‌زاده، فتاح. برهمندپور، همایون.(۱۳۹۵)،" پتانسیل‌سنجی مسیرهای بالقوه برای انتقال توان با ظرفیت بالا به منظور توسعه صادرات برق ایران"، *یازدهمین همایش بین المللی انرژی*، تهران، ۱۱ خرداد.

ریگی، احسان‌الله. انوری، محمودرضا. رضازاده، معصومه. (۱۴۰۰)،" تحلیل نقش اقتصادی مرز بر پایداری مناطق پیرامونی(مورد مطالعه: دهستان‌های شهرستان میرجاوه)"، *فصلنامه روستا و توسعه پایدار فضا*، دوره دوم، شماره سوم، پاپی ۷، صفحات۱۱۷-۹۹.

شکوری گنجوی، ح. کاظمی، ع. عبداله‌پور، س. گلدانساز، س.(۱۳۹۹)،" ارزیابی اقتصادی اجتماعی و زیست محیطی تولید برق از تکنولوژی‌های تجدیدپذیر و گازی، فصلنامه علمی-ترویجی انرژی ایران"، دوره ۲۳، شماره ۳، صفحات ۳۳-۷.

صادقی، زین‌العابدین. حری، حمیدرضا. صادقی نساج، سیده سکینه.(۱۴۰۰)، "مقایسه اقتصادی و فنی تامین انرژی از نیروگاه ترکیبی خورشیدی-بادی به‌جای احداث خط انتقال گاز طبیعی"، *فصلنامه علمی-پژوهشی برنامه‌ریزی و بودجه*، سال بیست و ششم، شماره ۲، صفحات ۱۰۹-۷۷.

منظور، داوود. مظومی، علیرضا.(۱۳۹۹)،" ارزیابی اثرات الحاق ایران به منشور انرژی بر ترانزیت برق"، *فصلنامه علمی-ترویجی انرژی ایران*، دوره ۲۳، شماره ۴، صفحات ۱۲۷-۱۰۷.

عسگری، بصیر. فرامرزی‌فرد، ساره.(۱۳۹۸)، "تاثیر ژئوپولوتیک انتقال انرژی بر امنیت ملی جمهوری اسلامی ایران"، *فصلنامه جغرافیایی سرزمین، علمی-پژوهشی*، سال شانزدهم، شماره ۶۴، صفحات ۱۰۳-۸۴

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

Al Garni, H Z. Awasthi, A. (۲۰۱۷). "Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia", *Applied Energy*, Vol. ۲۰٦, pp. ۱۲۲۵-۱۲۴۰.

Eghlimi, M. Niknam, T. Aghaei, J. (۲۰۲۲)."Decision model for cross-border electricity trade considering renewable energy sources". *Energy Reports, 8*, ۱۱۷۱۵–۱۱۷۲۸. https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.egyr.۲۰۲۲,۰۸,۲۲۰.

George, A M. "Utility Scale Solar Power Plants (a guide for developers and investors)", First Edition., pp.۵۵-۵٦, *International Finance Corporation, World Bank Group*, ۲۰۱۲.

Hofmann, M. Seckmeyer, G. (۲۰۱۷) "A New Model for Estimating the Diffuse Fraction of Solar Irradiance for Photovoltaic System Simulations", *Energies* Vol. ۱۰, No. ۲, ۲٤۸.

Mogheri, A. Tavosi, T. (۲۰۱۳). "Feasibility and zoning of places prone to install solar panels based on climatic parameters in Sistan and Baluchistan province ",*Quarterly Journal of energy Policy and Planning Research,*۱(۱),۹۹-۱۱٤.

Pourkiaei, S M. Pourfayaz, F. Shirmihammadia, R. Moosavi, S. Khalilpoor, N. (۲۰۲۱). "Potential, Current Status, and Applications of Renewable Energy in Energy Sector of Iran: A Review", *Renewable Energy Research and Application*, ۲(۱), ۲۵-٤۹, DOI: ۱۰.۲۲۰۴۴/۲۰۲۰.۸۸۴۱.۱۰۰۸

Rahimi, M. Pazand, F. Abdolahi, A. (۲۰۱۷). "Potential Survey of Establishing Solar Power Plants Using AHP Model and Fuzzy Logic in Sistan and Baluchistan Province", *Geography and Development* ,۱۵(٤۳), ۲۳-۳٦,(In Persian) ۱۰,۲۲۱۱۱/gdij.۲۰۱۷,۳٤٤۹.

Reza, M A. Khatri, K L. Israr, A. Ul Haque, M I. Ahmed, M. Rafique, Kh. Saand, A S. (۲۰۲۲)."Energy demand and production forecasting in Pakistan", *Energy Strategy Reviews.* ۳۹ :PP. ۱۰۰۷۸۸.

Rehman, A. zhang, D. (۲۰۱۸). "Pakistan's energy scenario: a forecast of commercial energy consumption and supply from different sources through ۲۰۳۰", *Sustainability and Society*. ۸:۲٦.

Sadegi, Z. Esfahani, D. Hiri, H. (۲۰۱۱). "Prioritizing factors affecting the location of renewable energy power plants in Kerman province using GIS geographic information systems and multi-criteria decision making techniques", *Journal of Energy Planning And Policy Research*, Vol. ۱, No. ۲, pp.۹۳-۱۱۰.

Taoufik, M. Laghlimi, M. Fekri, A .(۲۰۲۱) "Land suitability analysis for solar farms exploitation using the GIS and Analytic Hierarchy Process (AHP) – a case study of Morocco", *Energy Policy Journal*, Vol. ۲٤, No. ۲, pp. ۷۹-۹٦.

Trieb, F. Schillings, Ch. Pregger, Th. Osullivan, M.(۲۰۱۲). "Solar electricity imports from the Middle East and North Africa to Europe", *Energy Policy*, ٤۲, ۳٤۱-۳۵۳. https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.enpol.۲۰۱۱,۱۱,۰۹۱.

Zahedi, R. Sadeghitabar, E. Ahmadi, A. (۲۰۲۳). "Solar energy potential assessment for electricity generation on the south-eastern coast of Iran ",*future energy*, ۲(۱),۱۵-۲۲.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]